

УДК 552.2(263)

МАССИВНАЯ И ПРОЖИЛКОВО-ВКРАПЛЕННАЯ СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОМ ХРЕБТЕ В РАЙОНЕ РАЗЛОМА СЪЕРРА-ЛЕОНЕ В СВЯЗИ С ОСОБЕННОСТЯМИ ЕГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

© 2002 г. Академик Ю. М. Пушаровский, Н. С. Бортников, С. Г. Сколотнев, А. А. Пейве, В. Ю. Колобов, Н. В. Цуканов, С. М. Ляпунов, Е. В. Шарков, А. Г. Мочалов, М. И. Столяров, Д. И. Кринов, Н. В. Раздолина, А. Чиприани

Поступило 29.01.2002 г.

В комплексе работ по геологии и полезным ископаемым океанского дна особое внимание уделяется геодинамическим и металлогеническим исследованиям срединно-океанических хребтов. В центре проблемы находятся гидротермальные проявления на океанском дне и связанное с ними сульфидное оруденение.

В Срединно-Атлантическом хребте (САХ), простирающемся приблизительно на 20000 км, к настоящему времени выявлено лишь 7 гидротермальных полей, из которых одно открыто в 90-х годах прошлого столетия российскими экспедициями. Однако критерии прогноза поиска океанского сульфидного оруденения представляют собой особую проблему. Один из подходов к ее решению в 1998 г. был найден в Геологическом институте РАН [1]. Мы коснемся его ниже, а сейчас отметим, что экспедиция, проведенная ГИН на нис “Академик Николай Страхов” в 2000 г. в район пересечения гребня САХ разломом Съерра-Леоне, подтвердила перспективность предложенного подхода [2]. В соответствии с этим Геологическим институтом в 2001 г. был выдвинут проект проведения экспедиции в этот район для более основательного изучения его геологического строения, геодинамических особенностей и поиска гидротермального оруденения. Секция Наук о Земле Президиума РАН утвердила проект, и осенью 2001 г. экспедиция состоялась на нис “Академик Иоффе” (рейс 10) (руководитель проекта акад. Ю.М. Пушаровский, начальник экспедиции С.Г. Сколотнев). В ней также приняли участие сотрудники ИГЕМ, работавшие согласно проекту Президиума РАН “Океанические рудно-магматические системы: условия минералообразования, источники металлов и флюида, перспек-

тивы освоения” (научный руководитель Н.С. Бортников), ОИГГМ СО РАН, Института океанологии РАН.

Во время работ проведено 46 драгировок, в ходе которых получено около 1400 кг коровых и мантйных пород, в том числе околорудноизмененные породы с рудной минерализацией и фрагменты массивных медноколчеданных руд. Было выполнено 530 миль профилей с помощью бортового профилографа PARASOUND, регистрирующего отражения от стратифицированных осадочных толщ, и 300 миль профилей рельефа дна с помощью многолучевого эхолота ECHOS XD.

В итоге получены существенные научные результаты, которые частично излагаются в данном сообщении.

Изученный сегмент САХ лежит между разломом Богданова (7°10' с.ш.) [4] и 5°00' с.ш. (рис. 1). К северу от разлома Богданова рельеф хребта сильно расчленен, будучи разбит серией крупных трансформных разломов (Вима, Архангельского, Долдрамс, Вернадского). Южнее 5°00' с.ш. и до разлома Страхова САХ представляет собой выровненное плато, пересекаемое узкой меридионально ориентированной осевой рифтовой долиной. Свообразие морфоструктурного облика сегмента заключается в отсутствии здесь трансформных разломов и изменчивом простирании рифтовой долины, незначительно смещающейся вдоль левосторонних сдвигов. Данный сегмент САХ отличается от смежных участков пониженным уровнем сейсмичности. Как было замечено А.О. Мазаровичем и С.Ю. Соколовым [1], именно в пределах таких районов локализуются известные крупные рудные сульфидные залежи, связанные с “черными курильщиками”.

В ходе драгировочных работ было продолжено опробование рифтовой долины (рис. 2). Станции располагались: к северу от разлома Богданова на борту нодальной впадины (ст. П1003); в осно-

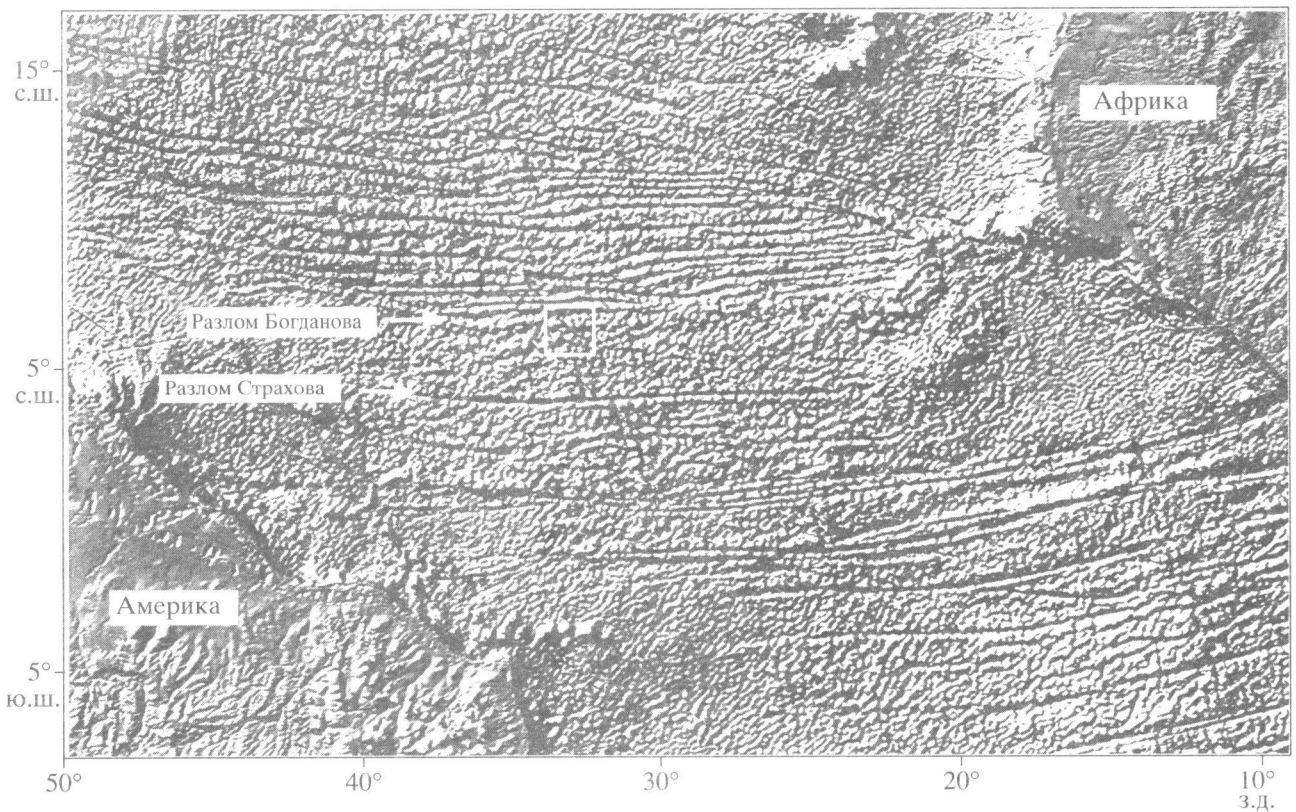


Рис. 1. Положение района исследований среди структур океанского дна Центральной Атлантики. Карта выполнена на основе данных спутниковой альтиметрии [5]. Белым квадратом обведен полигон работ в 10-м рейсе нис “Академик Иоффе”.

вании и на бортах двух глубочайших рифтовых депрессий (до 5 км), локализованных непосредственно к югу от разлома Сьерра-Леоне и разделенных между собой поперечным порогом (северную из них, наиболее глубокую, после 22-го рейса нис “Академик Николай Страхов” предложено называть впадиной Маркова) (ст. П1031, П1032, П1039 – П1043); а также на самом юге полигона (ст. П1044, П1045) – на борту рифта и на склоне неовулканического поднятия. Целая серия драг (ст. П1020–П1027), связанных с рифтовыми структурами, была проведена в районе так называемого Рудного полигона, вблизи того места, где в 22-м рейсе были подняты долериты с сульфидной прожилковой минерализацией (ст. S2234). Этот полигон находится в районе разлома Сьерра-Леоне там, где южный и северный отрезки рифтовой долины перекрывают друг друга в плане (оверлэппинг) (рис. 2).

В нескольких местах гребневая часть САХ была опробована за пределами рифтовой долины. К югу от разлома Богданова к западу от оси рифта на ст. П1012 продрагирован борт субмеридиональной долины, по своим морфологическим особенностям и размерам похожей на палеорифтовую долину. С восточной стороны на таком же

удалении от оси рифта располагается субмеридиональное поднятие, пересекающее долину разлома Богданова. В ходе батиметрической съемки в 22-м рейсе нис “Академик Николай Страхов” обнаружено два таких необычных поднятия. Одно из них находится в районе сочленения рифтовой долины и разлома Богданова и выходит со стороны восточного борта рифтовой долины в долину разлома, там, где обычно формируется нодальная впадина. Результаты драгировки в 22-м рейсе показали, что оно сложено свежими базальтами и, по-видимому, является неовулканическим поднятием. Похожее поднятие к востоку от рифта, вероятно, является палеоаналогом неовулканического поднятия, на его склоне также были получены базальты (ст. П1009).

В 22-м рейсе примерно на широте 6°35' с.ш. был сделан субширотный профиль драгирования, пересекающий рифтовую долину. В 10-м рейсе нис “Академик Иоффе” этот профиль был продолжен дальше к западу (ст. П1016–П1018) и к востоку (ст. П1029–П1030). Несколько удачных драгировок сделано также в нескольких местах на западном фланге гребневой части САХ (ст. П1034, П1036, П1037, П1046).

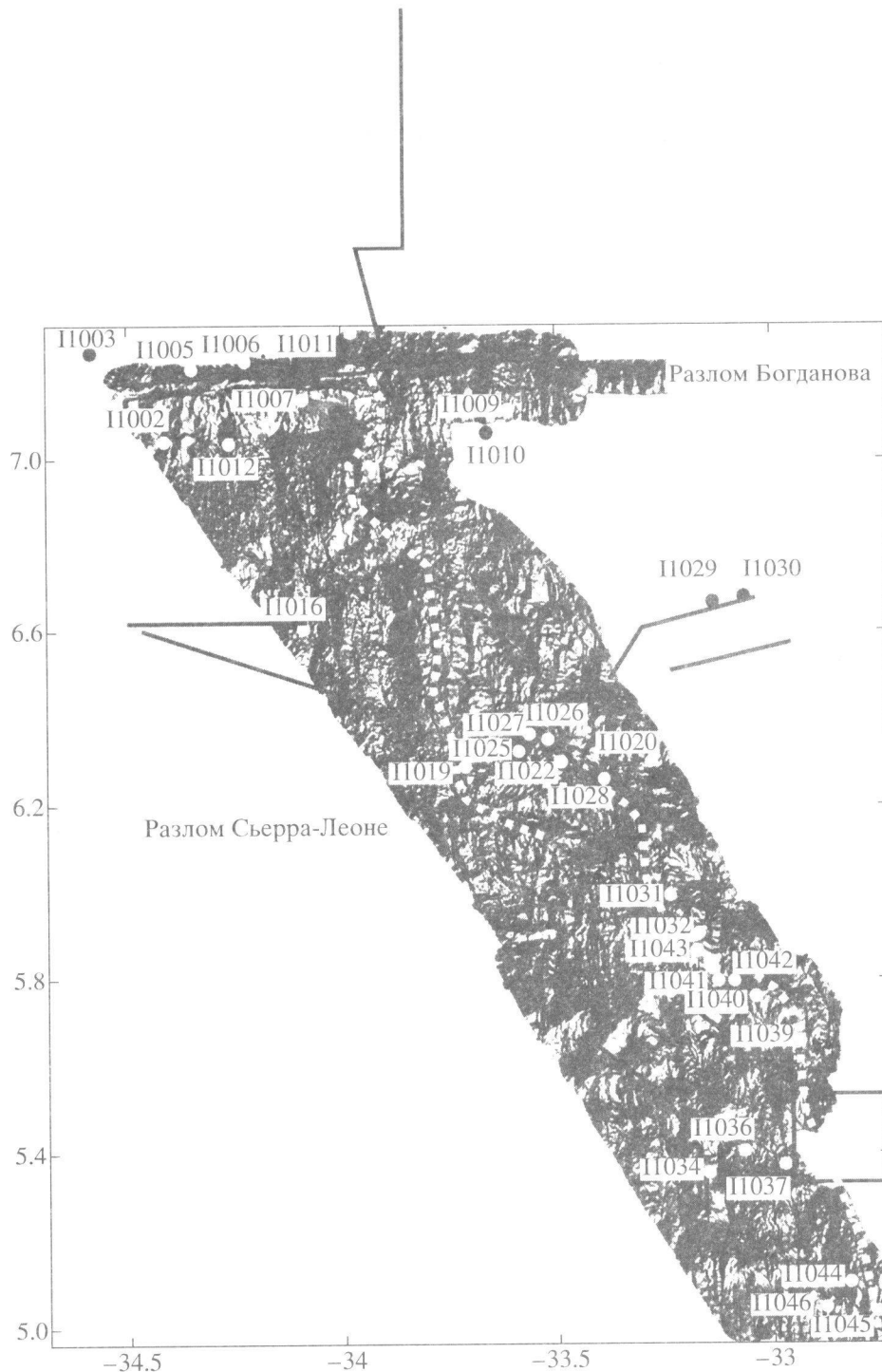


Рис. 2. Карта полигона работ 10-го рейса нис "Академик Иоффе", выполненная по материалам батиметрической съемки, сделанной в 22-м рейсе нис "Академик Николай Страхов" [3]. Сплошными черными линиями проведены профили работ с помощью эхолота ECHO XD и профилографа PARASOUND, кружками показано местоположение станций драгирования, квадратом околочен район площадной батиметрической съемки, проведенный с помощью эхолота ECHO XD. Белая пунктирная линия показывает положение оси рифтовой долины.

В активной части трансформного разлома Богданова с северной стороны в нескольких местах (ст. П1005, П1006 и П1010) опробован протяженный поперечный хребет. Южное ограничительное разломной зоны имеет более сложное стро-

ение. Здесь наблюдается протяженное угловое поднятие (в его основании располагается ст. П1007), сменяющееся к западу грядовым рельефом. Одна из таких гряд опробована на ст. П1002.

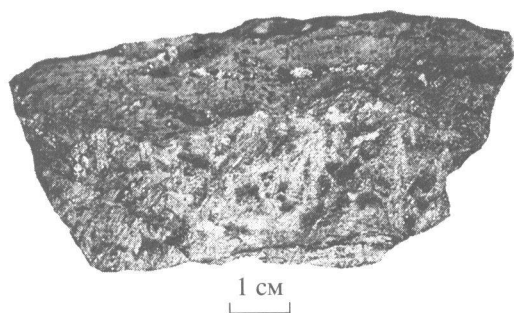


Рис. 3. Фрагмент массивной сульфидной руды, поднятой из впадины Маркова.

Результаты драгирования рифтовой долины в 10-м рейсе нис “Академик Иоффе” подтвердили и дополнили результаты ее опробования в 22-м рейсе нис “Академик Николай Страх” [3, 4]. Оба борта рифтовой долины на большом протяжении (>300 км) сложены глубинными породами: габброидами и ультрабазитами, наряду с которыми нередко встречаются сильно измененные и тектонизированные базальты и долериты. Исключение составляет восточный борт нодалной впадины к северу от разлома Богданова, откуда получены свежие базальты. Это дополнительно подтверждает важную структурную роль разлома Богданова как раздела между районами с разным геодинамическим режимом. Свежие базальты южнее разлома Богданова обнаружены либо на днище рифтовых впадин, либо на склонах неовулканических поднятий. Днища многих рифтовых впадин и депрессий покрыты осадками. Этот факт свидетельствует о том, что современное растяжение на данном сегменте САХ на всем его достаточно большом протяжении происходит при доминировании тектонических процессов над магматическими. Брешь при растяжении коры заполняется тектонически выводимыми в верхние горизонты коры глубинными породами. При этом пологие тектонические срывы, вдоль которых происходит выведение этих пород, проникают до уровня верхней мантии. Данный вывод подтверждается наличием глубоких внутририфтовых впадин, обнаруженных при батиметрической съемке. В то же время на фоне этого “сухого” спрединга наблюдаются мощные и протяженные вдольосевые неовулканические хребты, сложенные свежими базальтами. Все наблюдаемые и опробованные неовулканические хребты смещены в той или иной степени к востоку относительно оси рифта.

Помимо неовулканических поднятий внутри рифта имеются и другие поднятия, сложенные преимущественно ультрабазитами. Одно из них обнаружено в 22-м рейсе нис “Академик Николай Страх” в северной части полигона (ст. S2244). Оно имеет небольшие размеры и изометричную

форму. К ним также относится тектонический порог, разграничивающий две глубочайшие депрессии, опробованный на ст. П1042. Наличие таких поднятий означает, что внутри рифта происходят интенсивные вертикальные движения, возможно, обусловленные подъемом протрузий серпентинизированных ультрабазитов. Вероятно, в результате этого механизма сформировались многие горы изометричной формы, встречающиеся за пределами рифта и сожженные глубинными породами, что создает хаотичный характер рельефа.

Широкое распространение глубоко гидротермально переработанных рудосодержащих пород обнаружено в двух близко расположенных местах, разделенных разломом Сьерра-Леоне. К северу от него на площади Рудного полигона в нескольких драгах обнаружены сильно гидротермально измененные базальты с хлоритом, эпидотом, амфиболами. Некоторые из базальтов (на ст. П1025) содержат кварцевые жилы, в зальбандах которых развиваются пирит, халькопирит, хризоколл (?). К югу от разлома Сьерра-Леоне из основания восточного борта рифтовой впадины Маркова (ст. П1032: $5^{\circ}54.6'$ с.ш. \times $33^{\circ}10.4'$ з.д., 4700 м) в большом количестве подняты метасоматиты, сложенные в основном пренитом, эпидотом, хлоритом и в меньшей степени амфиболами. Практически все метасоматиты содержат прожилковую и гнездовидную сульфидную минерализацию. Как показывают результаты петрографического изучения, они сформировались при гидротермальном преобразовании катаклазированных габброидов. Нередко метасоматиты пронизаны относительно мощными баритовыми, кварцевыми и карбонатными жилами, также содержащими пирит, халькопирит и сфалерит. Кроме того, поднят фрагмент массивной сульфидной неокисленной руды, состоящей из крупных кристаллов халькопирита (рис. 3). Интенсивно гидротермально измененные породы были подняты и на другом борту впадины Маркова, а также с бортов соседней рифтовой впадины и со склонов тектонического порога, который разделяет эти впадины.

За пределами рифтовой долины с различных морфоструктур были получены исключительно базальты, в различной степени измененные при взаимодействии с придонной морской водой.

Среди каменного материала, полученного из активной части разлома Богданова, преобладают ультрабазиты, что весьма характерно для разломных зон. В основании углового поднятия на южной стороне разлома Богданова обнаружены базальты и долериты, а также сланцы, сформировавшиеся при динамометаморфическом преобразовании базальтов и долеритов, в то время как выше на склонах самого углового поднятия

встречены ультрабазиты. Эти данные позволяют предположить, что, возможно, угловое поднятие сформировалось при надвиге ультрабазитов на базальты.

В 10-м рейсе нис “Академик Иоффе” характер рельефа и строение осадочного чехла изучены в северной части района работ; вдоль активной и восточной пассивной частей трансформного разлома Богданова, а также на нескольких пересечениях гребневой части САХ (рис. 2).

Установлено, что на западном фланге гребневой части к западу от полигона 22-го рейса нис “Академик Николай Страхов” между широтами $6^{\circ}32' - 6^{\circ}36'$ с.ш. сохраняется субмеридионально вытянутый линейно-грядовый характер рельефа, как и вблизи рифтовой долины. На восточном фланге субширотного профиля также выявлен линейный характер рельефа, однако в данном случае он сменяет хаотичный рельеф, которым характеризуется более близкий к рифту участок дна.

С обеих сторон рифта в субширотных, субмеридиональных и косо расположенных депрессиях имеется осадочный чехол, достигающий мощности 20–40 м. В этих же депрессиях обнаружены многочисленные поднятия разных размеров и формы, характер взаимоотношений которых с осадками указывает на то, что эти поднятия деформируют осадочный чехол. Следовательно, за пределами осевой части САХ в данном районе происходят активные тектонические движения.

Два крупных поднятия, внедряющихся со стороны рифтовых структур в долину трансформного разлома Богданова, сложенных базальтами, имеют близкий ступенчатый профиль поперечного сечения. Ступени и вершина одного из этих поднятий, расположенного в пассивной части, местами перекрыты осадочным чехлом. Вершинная часть более молодого поднятия увенчана мелкими вулканическими постройками. Таким образом, оно сочетает в себе признаки вулканического роста, затухающего во времени, и тектонического воздымания.

Неовулканическое поднятие является резкой границей, отделяющей активную часть разлома Богданова, где полностью отсутствуют осадки, и пассивную восточную часть, где они достигают мощности 40 м. Это означает, что в активной части разлома происходят интенсивные тектонические движения, постоянно порождающие новое дно, в силу чего осадки здесь не накапливаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе экспедиционных работ подняты фрагменты неокисленной медноколчеданной руды и многочисленные обломки околорудноизмененных метасоматитов, содержащих жилы и вкрапления пирита, халькопирита и сфалерита.

2. Весь комплекс работ, проведенных в 10-м рейсе нис “Академик Иоффе”, свидетельствует об уникальном геодинамическом режиме осевой части Срединно-Атлантического хребта между разломом Богданова на севере и 5° с.ш. на юге. Этот режим сочетает в себе признаки “сухого” спрединга, при котором происходят интенсивные тектонические движения, и интенсивной магматической активности, действующей импульсивно и кратковременно. Весьма интересна пространственная локализация этих магматических импульсов. Мощный неовулканический хребет сформировался в пределах разломной долины там, где обычно закладывается нодальная впадина.

Данный геодинамический режим характерен только для современного этапа развития этого сегмента САХ. Время смены характера геодинамического режима примерно можно определить по скорости спрединга в этом районе САХ и по расстоянию до места смены хаотичного типа рельефа на грядовый тип рельефа на восточном фланге гребневой части. Оно составляет 2–2.5 млн. лет назад. До этого времени по имеющимся данным имел место типичный магматический режим спрединга, поскольку при драгировании флангов гребневой части САХ получены исключительно базальты.

3. Необычный геодинамический режим, а именно, тектоническое растяжение, периодически осложняющееся мощными магматическими импульсами, создает благоприятные условия для заложения в этой области устойчивых высокотемпературных рудогенерирующих гидротермальных систем, продукты деятельности которых были обнаружены в рейсе. Тектоническое растяжение и вертикальные движения обуславливают повышенную трещиноватость коры в данном сегменте САХ, а периодически возникающие промежуточные камеры, о наличии которых свидетельствует повсеместное присутствие габброидов, являются тепловыми источниками, которые нагревают метаморфизованную морскую воду, проникающую вглубь по трещинам. Намечается взаимосвязь между наличием глубоко гидротермально проработанных рудосодержащих пород и присутствием среди габброидов большого количества оливиновых разностей, включая и троктолиты, что ранее не отмечалось в других сегментах САХ. Доминирование оливиновых разностей среди габброидов может указывать на более высокую, чем обычно, температуру в промежуточной камере.

Совокупность всех полученных данных и сделанных выводов дает основание прогнозировать функционирование устойчивых гидротермальных систем в районах Рудного полигона и глубочайших рифтовых впадин. При постановке детальных работ специальными методами здесь могут быть открыты залежи массивных сульфидных

руд типа “черных курильщиков”. Более того, схожесть строения рифтовой долины на всем протяжении данного сегмента САХ делает весь этот отрезок рифта перспективным на поиски таких руд.

Авторы благодарны акад. Н.П. Лаверову за помощь в проведении исследований. Мы признательны капитану Л.В. Сазонову и команде нис “Академик Иоффе” за содействие в проведении экспедиции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН (Комплексная программа научных исследований “Мировой океан: геология дна, геодинамика, биология моря и экология”), РФФИ

(проект 00–05–64235) и Минпромнауки РФ (ФЦП “Мировой океан”, госконтракт МО–11(ОО)–П).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазарович А.О., Соколов С.Ю. // Литология и полез. ископаемые. 1998. № 4. С. 436–439.
2. Мазарович А.О., Симонов В.А., Пейве А.А., Ковязин С.В. и др. // Литология и полез. ископаемые. 2001. № 5. С. 526–533.
3. Пейве А.А., Добролюбова К.О., Ефимов В.Н., Киприани А. // ДАН. 2001. Т. 377. № 6. С. 803–806.
4. Peyve A., Bonatti E., Brunelli D. et al. // InterRidge News. 2000. V. 9. № 2. P. 28.
5. Sandwell D.T., Smith W.H.F. // J. Geophys. Res. 1997. V. 108. P. 10039–10054.